

Ciencia. Tecnología. Innovación. Educación

por **D. Pedro Miguel Etxenike**

*Conferencia pronunciada
el 12 de diciembre de 1995*

Forum Deusto

Ciencia. Tecnología. Innovación. Educación

por D. Pedro Miguel Etxenike*

Introducción

Mis primeras palabras son para agradecer al Presidente del Forum Deusto su invitación a impartir una conferencia dentro del ciclo: «Hacia una nueva sociedad: innovación y cambio», ciclo con el que «se pretende comprender el mundo y el tiempo en que vivimos, así como las líneas maestras de lo que nos espera en el futuro». Ciencia, Tecnología, Innovación, Educación son componentes esenciales de dicho futuro.

Desarrollar con una mínima profundidad este atractivo tema requeriría más tiempo y sobre todo alguien con más preparación que quien les habla.

Mi deseo es transmitirles pequeñas reflexiones junto con algunas preocupaciones sobre aspectos generales, sin otro objetivo que mover a la reflexión y en algún caso señalar, lo que en mi opinión, pueden ser errores muy perjudiciales a largo plazo.

* Pedro Miguel Etxenike Landiribar, natural de Pamplona, se licenció en Ciencias Físicas en la Universidad de Navarra, se doctoró en Física Teórica por la Universidad de Cambridge en 1976 y luego en Física Electrónica por la Autónoma de Barcelona con las máximas calificaciones. Entre 1978 y 1980 fue Catedrático de la Universidad de Barcelona. Entre 1984 y 1986 fue Catedrático de la Universidad de Cambridge, y desde 1986 es Catedrático de Física de la Materia Condensada en la UPV/EHU. Entre 1980 y 1983 fue Consejero de Educación del Gobierno Vasco. Entre 1983 y 1984 fue Consejero de Educación y Cultura y Portavoz del Gobierno Vasco. Ha recibido diversos premios y distinciones y es, entre otros, Overseas Fellow del Churchill College de Cambridge, Miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y Fellow of the American Physical Society. Etxenike ha publicado más de 200 trabajos en libros y revistas especializadas, dirigido tesis, e impartido conferencias en varios centros nacionales e internacionales.

I. Ciencia. Parte esencial de la cultura

a. *Dualidad de la Ciencia*

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad las condiciones en las que se desarrollaba la existencia eran prácticamente las mismas en el transcurso de una vida humana. La tradición era una guía segura de comportamiento. Las cosas empiezan a cambiar, al comienzo lentamente, luego más rápidamente hasta alcanzar un ritmo increíblemente acelerado. Este cambio es una de las consecuencias de la Ciencia, del método científico moderno.

Un doble motivo aparece siempre en esta búsqueda. Por un lado, simple curiosidad, deseo de saber, de ir más allá, reflejada bellamente por Einstein al referirse al gran físico alemán Planck como «un hombre con hambre de alma». Por otro lado, resolver problemas, usar el conocimiento para su uso y beneficio. El principio de Arquímedes se encontró intentando contestar la pregunta de un rey sobre cuánto oro tenía una corona.

La Ciencia a través de la tecnología ha cambiado el mundo. Ha modificado nuestra forma de comunicarnos, de relacionarnos con el entorno natural; nuestra forma de pensar, de vivir; la cultura en una palabra. La Ciencia es parte esencial de la cultura. Es perjudicial, para todos, esa separación entre científicos y los que, a veces, se autoatribuyen de forma exclusiva el calificativo de humanistas. Es la famosa discusión que empieza a ser felizmente superada de las «dos culturas». Debate que se aviva tras la conferencia, «Rede», que con dicho título imparte C.P. Snow en 1959 en Cambridge.

Snow tenía la esperanza de que el puente se cruzase. En su reciente libro *The third culture - Beyond the scientific revolution*, John Brockman argumenta que ya se ha cruzado. No como esperaba Snow para unir a intelectuales literarios y científicos sino para unir directamente a los científicos con el público.

La sociedad es muy consciente de los aspectos positivos de la Ciencia. Así lo muestran, por ejemplo, los resultados de una encuesta publicada en febrero del año pasado en el *Economist* y realizada con el objetivo de conocer cuáles son las maravillas del mundo de hoy. Fueron elegidas como aquellas que asombrarían a cualquier persona de otro siglo que las viera y pudiese comprenderlas.

Eligieron logros, realizaciones, científico-tecnológicos que van desde el avión jumbo hasta la red telefónica mundial pasando por los mi-

croprocesadores y la píldora anticonceptiva entre otros. En una votación posterior los lectores del *Economist* votaron para elegir la octava maravilla; allí apareció el coche y la electricidad por un lado y por otro, «El principio de indeterminación» de Heisenberg. La idea de que exista un límite al conocimiento es fascinante en sí misma. El hecho de que ese límite pueda usarse para progresar en nuestra comprensión e incluso como base de nuevas tecnologías es maravilloso.

Es cierto asimismo que el desarrollo científico-tecnológico presenta a la sociedad nuevos problemas. Por primera vez el ser humano dispone de la posibilidad de práctica autodestrucción de su entorno. En el periódico de ayer leíamos las declaraciones del premio Nobel de la Paz de 1995, Joseph Rotblat: «Desde Hiroshima, la Ciencia se identifica con la muerte.» Los efectos de algunas de sus actividades pueden afectar a la humanidad durante cientos o miles de años, e incluso cambios en el mensaje genético pueden ser forzados permanentemente a generaciones posteriores.

La impurificación de la atmósfera y de las aguas dulces; los cambios climáticos; la expansión gradual de los desiertos; la desaparición de las selvas tropicales, son problemas que no existirían en su magnitud actual sin el desarrollo de la Ciencia y Tecnología.

La mayor parte de estos problemas obedecen a una sola causa: el repentino triunfo de nuestra propia especie, debido precisamente a su capacidad para desarrollar tecnologías —el enorme aumento que ha experimentado nuestro número más o menos en el último siglo— y nuestras mayores demandas de comodidad, salud, bienestar y felicidad.

La población del mundo ha crecido dramáticamente a lo largo del último millón de años. Lo ha hecho en tres etapas. El primer gran crecimiento, de 150.000 a cinco millones coincide con el desarrollo de algunos instrumentos rutinarios. El segundo de cinco a quinientos millones está asociado a la aparición de la agricultura. El tercero de quinientos a 5.600 es una consecuencia de la revolución industrial. Cada revolución tecnológica —instrumentación, agricultura y producción industrial— ha permitido al hombre reducir su dependencia directa del entorno natural.

El conjunto de estos y otros muchos efectos ha provocado un rechazo no solamente de la irracional utilización de la tecnología sino de la misma Ciencia y Tecnología, de todo desarrollo económico basado en la tecnología. Algunos quieren volver a un pasado que consideran más limpio, más justo y más hermoso. Pasado al que idílicamente asignan el calificativo de mejor.

Quizás no sea ocioso recordar que la vida humana se ha hecho más agradable, más plena y, no lo olvidemos, más larga; en una palabra, más humana gracias a los logros de la Ciencia y Tecnología.

En aquellos «felices días» la vida de la mayoría era «mezquina, brutal y corta» (*nasty, brutish and short*), tal como la describió hace unos tres siglos y medio el filósofo inglés Thomas Hobbes.

La esperanza de vida ha crecido en paralelo a la mejora de las condiciones económicas. En la antigua Roma era de 22 años, en los países desarrollados hacia 1900 era de 50. Hoy en bastantes países está cerca de los 80. Incluso si pudiésemos encontrar remedio para todas las enfermedades es muy probable que nuestros cuerpos estuviesen totalmente inservibles en unos 115 años.

La vida en el pasado, insisto, era, excepto para una privilegiada minoría, sórdida, cruel y corta, muy corta. La ciencia ha ejercido una función humanizadora sobre la sociedad.

b. *Conocimiento. Sabiduría*

La ciencia no está, sin embargo, al margen de la crítica y debe responder a las preguntas que se le hacen. El progreso científico y técnico constituye un requisito imprescindible para lograr, de forma colectiva, una vida humana digna, pero por sí solo no garantiza dicha dignidad.

La Ciencia por sí misma no proporciona el remedio a los males individuales, sociales y económicos... Pero sin progreso científico ningún avance en otras materias puede asegurar nuestra salud y prosperidad, en el mundo moderno.

Lo mismo que sucede con todas las demás creaciones del espíritu humano, los efectos de la ciencia y de la tecnología son imprevisibles. Cada descubrimiento científico, o en palabras de Leibniz cada nuevo contacto con lo desconocido, abre un amplio abanico de nuevas posibilidades. Toda esperanza para el futuro encierra en sí una amenaza. Tenemos que mirar de frente a la existencia de esas incertidumbres y tratar de convivir, trabajar y avanzar con ellas.

La llave del futuro radica en nuestra capacidad de acertar, comprender y manejar un grado cada vez más creciente de complejidad y en hacerlo con una clara distinción de fines y medios: La frase de Einstein «perfección en los medios y confusión en los fines caracterizan nuestra era», no debe ser olvidada. Es peligroso si como colectivo, el poder en nuestras manos aumenta a mayor velocidad que la sabiduría

en el uso de dicho poder. Sabiduría es pues la palabra clave, no sólo prosperidad o conocimiento. El lema de Deusto nos recuerda. «*Sapientia melior auro*».

c. *Algunas características de la Ciencia*

Señalaré algunas características de la actividad científica especialmente unidas al problema de la tecnología y de la innovación.

—No hay un científico típico, ni hay una manera predeterminada de realizar la actividad científica. Sencillamente, no existe un «método científico» formal porque el descubrimiento científico es demasiado complejo, de una complejidad que es espejo de la complejidad misma del mundo material. Por ello, elementos no racionales e intuitivos, necesariamente son parte del proceso de descubrimiento.

Voltaire nos recuerda la respuesta de Newton al preguntarle cómo descubrió la ley de la gravitación universal: «Pensando continuamente en ello.»

—El progreso científico es difícil. Las alternativas son muchas y las posibilidades de equivocarse infinitas. No siempre es fácil caer en la cuenta de los propios errores.

La investigación, el preguntarse sobre cuestiones básicas fundamentales, no necesita ninguna justificación basada en razones económicas: se justifica por sí misma. Es algo que forma parte de lo que una sociedad desarrollada considera como calidad de vida, en pie de igualdad con la música u otra forma de arte. De hecho, todo, con distinto lenguaje, es arte.

Hawking, más que ningún otro científico vivo, está cualificado para proclamar que «Existe otra dimensión de la existencia humana más allá del bienestar material».

II. **Tecnología y ciencia. Desarrollo económico**

a. *Conexión no lineal*

En la economía actual, globalmente competitiva, la ciencia y tecnología son factores claves del desarrollo económico. Existe una profunda conexión entre un crecimiento económico sostenido, una alta calidad de vida y un avance de la ciencia y la tecnología. La conexión no es directa, no es inmediata, no es lineal y muchas veces es difícil de evaluar cuantitativamente, pero existe. Está presente.

El editorial de la revista *Nature* del 5 de octubre de este año se pregunta sobre la futura prosperidad de Europa y concluye, que :

«Quizás la Unión Europea no pueda proporcionar una prosperidad creciente, que es su principal justificación. La mejor esperanza es un golpe de suerte con la innovación.»

Efectivamente los costos laborales en Europa son un 20 % mayor que en los Estados Unidos, 25 % mayor que en Japón y aproximadamente 5 veces los de las economías más dinámicas de Asia. Supuesta la estabilidad política de dichos países, la lucha contra el desempleo será cada vez más difícil. Ya hay muchos ejemplos en Europa que indican el comienzo de una práctica bien establecida en Japón, la de desplazar la producción a lugares donde los costos laborales son más bajos.

Para *Nature*, la solución está en conseguir un crecimiento económico en Europa basado fundamentalmente en la innovación científico-tecnológica. La solución es sin embargo difícil, pues la presión en los fondos públicos es creciente y ello lleva a la disminución de los dedicados a la investigación precisamente cuando la necesidad de innovación es mayor que nunca. El problema es grave y hay señales preocupantes de que Europa todavía no es totalmente consciente de la profundidad y urgencia del desafío.

b. *Investigación fundamental básica y aplicada*

Parece existir consenso en que la investigación es decisiva para el desarrollo económico. No está tan claro, que se entienda correctamente cuál es la forma en que la investigación fundamental contribuye a la tecnología y a la innovación. Esta falta de comprensión puede llevar a políticas que intenten cortocircuitar el largo plazo y con ello la posibilidad de conseguir el resultado que se dice perseguir.

A veces asistimos a discusiones sobre si la ciencia crea tecnología o la tecnología ciencia. Las dos afirmaciones son ciertas. La tecnología de hoy se basa en la ciencia de ayer. Y la ciencia de hoy se basa en la tecnología de hoy. Ciencia y Tecnología están intrincadamente ligadas y ninguna puede en el largo plazo avanzar sin el avance de la otra.

Los grandes avances de la humanidad vienen de la investigación pura, abierta, donde investigadores de gran capacidad tienen absoluta libertad en la dirección que su fantasía y sus trabajos previos les lleven. No puede haber investigación aplicada de verdadera calidad sin un conocimiento y contacto con la investigación básica. Lo dicho no minimiza la importancia de la investigación aplicada ni de la tecnología. Al

contrario la refuerza: muchos de los grandes avances científicos no hubiesen sido posibles sin la utilización de los nuevos avances tecnológicos. La mejora de los sistemas de vacío permitieron el descubrimiento del electrón en el Cavendish Laboratory de la Universidad de Cambridge. El descubrimiento del transistor en los laboratorios Bell sólo fue posible gracias a tecnologías de producción de germanio puro. La tecnología de rayos X permitió a Watson y Crick dilucidar la estructura de doble hélice del ADN.

Este argumento no debe llevarse, sin embargo, al extremo de intentar justificar cualquier gasto, por grande que sea, en el campo que sea. En ello se basa el argumento de los «*spin off*» tan del agrado de los defensores de inversiones multimillonarias, en dólares, en armas de alta tecnología o en los grandes aceleradores. También, a nuestra escala, existen, los impulsores de grandes proyectos emblemáticos. Los japoneses han demostrado que la carrera casi siempre la ganan los que hacen ciencia, sin directriz, pero relacionada de forma natural con la tecnología, examinando cosas aparentemente sencillas como metales, vidrios u óxidos conductores. La calidad de estos pequeños grupos y proyectos es clave para la Industria Americana.

Los líderes de la Industria Americana son conscientes de la necesidad de una investigación básica y apoyan fuertemente el apoyo federal a la investigación universitaria. El 13 de marzo de 1995 los CEO (Chief Executive Officers) de quince de las compañías más grandes de los Estados Unidos con una fuerte base tecnológica escribieron una carta al Congreso Norteamericano titulada «El momento de la verdad para América». La carta concluye de la manera siguiente:

«Nuestro mensaje es simple. Nuestro sistema educativo y sus programas de investigación juegan un papel crítico y central en el avance de nuestro conocimiento. Sin el apoyo federal adecuado el nivel de la investigación universitaria se deterioraría. La industria americana dejaría de tener acceso a las tecnologías básicas y a científicos e ingenieros bien educados que han servido tan bien los intereses de América. Por lo tanto, respetuosamente, solicitamos que mantengan el apoyo a un vibrante programa de investigación universitaria con visión de futuro.»

Detrás de cada nueva tecnología existen habitualmente dos tipos de investigación, caracterizados por distintas motivaciones y horizontes temporales, una fundamental realizada sin siquiera vislumbrar las posibles aplicaciones y otra estratégica de la que se esperan ya unas ciertas aplicaciones aunque queden todavía muchas incógnitas por despejar antes de que se llegue a dichas aplicaciones prácticas.

Varios ejemplos ilustran este punto. Las fibras ópticas están revolucionando las comunicaciones, conectando continentes bajo los océanos y transportando comunicaciones por teléfono, televisión, computador, de la manera más eficiente y barata que se conoce. La investigación fundamental básica en la que se basa dicha tecnología es la mecánica cuántica desarrollada a partir de los años 20, y en particular el trabajo de Albert Einstein en absorción y emisión estimulada de radiación. Lo aplicado es el desarrollo del láser. La investigación básica estratégica fue el trabajo en interacción de luz con materiales. La comunicación por fibra óptica resulta de combinar láseres avanzados de estado sólido con nuevos materiales.

Prácticamente todas las tecnologías claves de hoy pueden describirse de manera análoga. El transistor surge del trabajo fundamental básico en teoría de materia condensada. La imagen por resonancia magnética (en los 80) surge del trabajo de Rabi sobre el movimiento de los momentos magnéticos de los núcleos.

c. *Ciencia. Tecnología. Imprevisibilidad*

Ello me lleva al asunto de la investigación estratégica. Investigación dirigida a un objetivo. Cualquiera con una mínima experiencia industrial o de administración pública sabe que su importancia es grande. Sin embargo este concepto no debe ser empujado de manera que ponga en peligro la aparición de nuevas ideas y la estructura básica de investigación fundamental en nuestros países. Muchas veces los ejecutivos de las industrias, y los políticos actúan como si la ciencia y la tecnología fuesen predecibles. Legislan soluciones a alternativas científico-tecnológico complejas sin tener un conocimiento suficiente de las alternativas.

No se debería dirigir la investigación exclusivamente a objetivos bien definidos, a objetivos y áreas en las que uno espera los nuevos avances técnicos. La historia muestra claramente la imposibilidad de acertar, no somos suficientemente sabios para acertar.

Uno de los últimos ministros de educación e investigación franceses afirmaba en la revista *Science*: «Al principio pensaba que podríamos definir las prioridades de la investigación básica en función de los intereses estratégicos del país, pero una amplia consulta con el mundo de la Ciencia y la Tecnología me demostró que estaba equivocado y que una completa libertad es una condición esencial para la ciencia.»

La razón fundamental es que la Ciencia y la Tecnología son imprevisibles. Imprevisibles e impredecibles.

En la década de los sesenta muchos pensaban que la biología molecular estaba acabada y que su interés era puramente académico.

Hace cien años Marconi envió su primera señal de radio, abriendo una nueva era de comunicaciones. El gobierno italiano rechazó apoyar su trabajo, fundándose en que la comunicación por cable era perfectamente adecuada para cualquier necesidad del momento o imaginable. Marconi ofreció sus servicios al almirantazgo británico, que obviamente estuvo más interesado. La siguiente pregunta es pertinente: ¿Se hubiera comportado de forma diferente alguno de los gobiernos de los cien años siguientes? La respuesta se deja como ejercicio para la audiencia.

El trabajo científico abre inmensas posibilidades al error y por ello debería imbuir a sus practicantes de una cierta humildad y de un gran respeto a los hechos, la veracidad y la honradez. Galileo es justamente famoso por acertar cuando otros se equivocaban y querían forzarle al error, pero él también tuvo su cuota de errores. Observando a Saturno, por ejemplo, fue incapaz de discernir la naturaleza de sus anillos, viéndolos como unas orejas bulbosas, y no vio la gran luna, Titan, de dicho planeta. Claro que estos fallos bien pudieron ser debidos a un pobre telescopio. Pero en materias de teoría la culpa no puede ser atribuida a los vidrieros venecianos. Cuando su contemporáneo Kepler le sugirió que la Luna podría ser la responsable de las mareas, Galileo rehusó tener nada que ver con esa supersticiosa estupidez. Por lo visto hay límites, incluso para los herejes.

III. **Innovación. Invención**

a. *Europa*

Hace ya mucho tiempo que Schumpeter distinguió claramente entre la capacidad de descubrir cosas nuevas, invención, algo que está ligado principalmente a la investigación científica y tecnológica y la capacidad de innovar. Inventar es generar nuevas ideas y conceptos, encontrar regularidades y leyes en la naturaleza. Innovar, siempre ligado a cambio, es en este contexto transformar ideas en productos, en riqueza.

Muy pocas invenciones se transforman en innovación. En 1980 un estudio de la Universidad de Sussex concluyó que un 3 % de invenciones se transforman en innovación.

Gran parte del conocimiento científico y tecnológico necesario para la innovación existe ya hoy. Se encuentra en laboratorios e industrias a lo largo del mundo, en Europa y en nuestro país, y está esperando que

se use. El crecimiento económico de Europa va a depender decisivamente del grado con que la innovación se instale en el sector industrial y de servicios. El desafío real que tiene Europa es sacar la tecnología del laboratorio y llevarla al mercado lo más rápidamente posible.

Ello es importante porque no debemos olvidar que es la industria la que produce productos, no la ciencia. La ciencia proporciona vías a la industria. Para un efectivo desarrollo de nuevas tecnologías tiene que existir una continua interacción entre los científicos en el laboratorio e ingenieros en la industria para eficiente y rápidamente trasladar descubrimientos científicos a aplicaciones prácticas. La colaboración Universidad-Empresa no puede consistir principalmente, y mucho menos ponerse como modelo, en prestar servicios. Entre la mera especulación y el puro contrato de servicios existe un amplio margen para la colaboración creativa, para la innovación.

Quizás una de las grandes debilidades del sistema Europeo de Ciencia y Tecnología es que no hemos sido capaces, al menos no en el mismo grado que nuestros competidores, de transformar ideas en productos y en éxito comercial. Países como el Reino Unido y en general muchos países europeos con gran respeto por el individuo, por la creatividad, por la originalidad son buenos en inventar. No es casualidad que el Reino Unido tenga más premios Nobel por persona que cualquier otro país. Japón que da gran importancia al trabajo en equipo y a los valores colectivos está en buenas condiciones para innovar.

La Ciencia Europea, medida por ejemplo por sus publicaciones, es competitiva pero de alguna forma Europa tiene más dificultades en transformar avances científicos y tecnológicos en productos industriales.

b. *Burocracia*

Es el momento de decir algo sobre la burocracia. Las regulaciones burocráticas conviven difícilmente con el comportamiento creativo. Normalmente las regulaciones y formalidades legales, independientemente de lo sabia y cuidadosamente que se hayan elaborado, tienden a ser inflexibles. Los espíritus inventivos se rebelan contra dicho sistema y dejan el liderazgo formal y administrativo a los de menos imaginación.

Los burócratas no son muy buenos a la hora de apostar por éxitos comerciales mientras que el mercado suele ser bastante bueno. La innovación surge casi siempre del mercado; incluso entre los productos de alto contenido tecnológico, la mayor parte han tenido su origen en la necesidad del mercado y no en la simple evolución tecnológica.

No debemos olvidar que el desarrollo no siempre consiste en avances espectaculares. Igualmente importante es un proceso continuado de pequeñas innovaciones, cada una de ellas aportando pequeños incrementos, pero cuyo efecto acumulado y de difusión dentro del sistema es crucial.

Los clientes, proveedores y otras empresas son fuentes claves de innovación para una empresa. Para ello es necesario contar con el personal adecuado para anticiparse a las necesidades y detectar oportunidades. El sistema de C y T no debe limitarse a proporcionar, sino que debe impulsar, promover la búsqueda de la tecnología, de la innovación por parte de las empresas. Debe contribuir a la creación de un entorno que facilite y anime la tarea.

Los políticos, al planificar la creación de centros tecnológicos deben tener muy presente que la investigación y el desarrollo son un oficio para el que hacen falta aptitudes y formación específica. La política debe estar impregnada de la preocupación por el largo plazo, la calidad, la creatividad y la innovación.

Los gobiernos no tienen que diseñar proyectos en detalle. Es mejor que se dediquen a poner los medios que permitan concentrar el capital humano, soporte financiero e infraestructura, necesarios para posibilitar el desarrollo a largo plazo de la industria. La Administración debe contribuir a definir un marco general, unas reglas de juego y velar por su cumplimiento. La palabra clave es coordinación, junto con actuar de motor de la innovación a través de la inversión pública en proyectos de alto contenido tecnológico.

Algunas políticas, tituladas industriales son en realidad políticas sociales. Políticas que pueden ser absolutamente necesarias pero que no deben ser substitutivas de auténticas políticas dirigidas a la innovación industrial.

En los niveles nacional, estatal y Europeo la coordinación tiene una importancia crucial. Coordinación y cooperación. El contacto directo entre lo público y lo privado, la empresa y la universidad es decisivo. Se atribuye al contacto directo entre los funcionarios y los hombres de empresa un papel clave en el éxito del programa japonés MITI. La siguiente frase tomada del capítulo «Lecciones de la historia» del libro *Competitividad tecnológica* de W. Aspray es ilustrativa:

«En el mundo occidental el gran éxito de las agencias gubernamentales orientales, especialmente la japonesa MITI, en la selección de tecnologías y negocios a apoyar, se atribuye a una sabiduría innata, pero en la

práctica el éxito se debe a la transferencia de conocimiento desde la industria al gobierno vía una estrecha relación personal entre industriales y funcionarios.»

Los poderes públicos deben ser catalizadores, deben colaborar y animar, más que fiscalizar y deben analizar con las empresas los puntos débiles y fuertes en sus propuestas, discutirlos con los interesados y buscar soluciones para mejorarlos. Y luego naturalmente realizar un seguimiento y evaluación.

c. *Invencción*

Pero la innovación no es suficiente. Invencción y avances fundamentales son asimismo necesarios. La investigación científica debe continuar. La razón práctica más importante para ello es que no sabemos lo que va a venir. No sabemos lo que puede surgir, los problemas a los que tendremos que hacer frente en el futuro.

El Profesor Rohrer de los laboratorios IBM de Zurich me ponía como ejemplo de lo anterior el caso del SIDA. La ciencia no puede ayudar si no prepara todo con mucha antelación, porque no sabemos lo que va a venir, y tenemos que disponer de un arsenal tremendo de posibilidades para poder hacer frente a lo que surja. Parte de dichos instrumentos existen. Partir de cero convertiría el objetivo en imposible.

Es posible que estemos en un momento especial, de grandes oportunidades. El desarrollo científico-tecnológico de las últimas décadas ha producido un cuerpo de ciencia y tecnología integrado por la microelectrónica, la informática, nuevos materiales, óptica, biotecnología y muchos más que no sólo son capaces de generar nuevos sectores económicos sino que pueden afectar procesos y resultados de prácticamente todas las líneas de producción.

Hay algo que considero especialmente importante. Casi todas las ramas de las tecnologías más importantes están todavía muy alejadas de sus límites físicos. Por ello es razonable esperar que cambios profundos e inesperados ocurrirán en el futuro, cambios que afectarán decisivamente al sistema económico y a nuestra calidad de vida. Por citar alguno: la nanotecnología. Tenemos ante nosotros un recorrido de ida y vuelta fascinante. Ir a la miniaturización de los componentes y las tecnologías futuras: Hacia la electrónica molecular, para luego volver a la tecnología post-miniaturización. De las estructuras moleculares hacia lo complejo.

Podríamos seguir con muchos ejemplos para ilustrar la importancia de la investigación y desarrollo para la innovación, el desarrollo econó-

mico y la calidad de vida, pero quizás es más importante insistir en que la clave es tener disponible un universo de posibilidades abierto por la ciencia y tecnología. El impacto surgirá siempre de manera inesperada y ciertamente no seguirá el camino que podíamos haber predicho. Quizás en el futuro la ingeniería génica tendrá un gran impacto en la agricultura e industria en todo el mundo, pero como ha sucedido tantas veces (¡Recordar el transistor o el *láser* al que, durante mucho tiempo se le conoció como una solución a la búsqueda de un problema!), estoy convencido de que el mayor impacto surgirá desde aplicaciones que hoy ni siquiera podemos imaginar.

Quizás no nos demos cuenta de que por primera vez en la historia de la humanidad podemos estar en una situación en la que un sabio uso de los medios tecnológicos que tenemos puede aportar niveles casi impensables de calidad de vida, no solamente a los países desarrollados, sino a las partes más pobres y necesitadas de la humanidad. Este es uno de los grandes desafíos a los que nos enfrentamos: Ser capaces de hacer crecer las economías de las naciones desarrolladas y al mismo tiempo reducir la distancia con una parte creciente del mundo. No sólo por razones éticas sino por puro pragmatismo ésta debería ser la línea a seguir. Transferir medios, dinero no será suficiente. Ni siquiera lo será transferencia de tecnología. Transferencia de Ciencia y Educación son aspectos claves de este proyecto.

IV. Educación. Universidad. Formación

a. Educación. General

El progreso innovador se basa fundamentalmente en el hombre. Y por ello debemos prestar una atención preferente a los aspectos educativos, en general y a los de las Universidades y Empresas en particular. El nivel científico-tecnológico y podríamos añadir industrial de una sociedad depende fundamentalmente del sistema educativo y de su flexibilidad y capacidad para transmitir su conocimiento al sistema productivo.

La industria de hoy necesita gente educada en:

- Capacidad operacional. Hacer el trabajo de hoy, con las habilidades de hoy, para obtener los beneficios de hoy.
- Capacidad estratégica. Para poder hacer el trabajo de mañana, con las habilidades de mañana, para obtener los beneficios de mañana.

Se está dedicando poco esfuerzo, en Europa, a educar en esa capacidad estratégica. Muchos de los trabajos del mañana no pueden ser hoy ni imaginados. ¿Quién podría pensar en los años 70 en muchos de los trabajos de hoy? La preparación para dicha capacidad estratégica es difícil. Creo que debe consistir en colaborar a crear hábitos, formas de pensar, estructuras flexibles que permitan una adaptación rápida a futuros cambios. Debe consistir en un entrenamiento férreo en los fundamentos, en lo realmente básico de las disciplinas, que luego permitirá la diversificación, la adaptación y la capacidad de afrontar nuevos problemas. La especialización excesiva, impulsada por las necesidades del momento puede ser la mejor solución para un aspecto industrial concreto, pero no creo que sea conveniente en un proceso de cambio y avance del conocimiento tan acelerado. El conjunto del conocimiento humano se está duplicando cada diez años prácticamente.

En la educación de los alumnos, y frente a la elección entre simplicidad y complejidad, se valora más la solución formal y elegante de problemas simples que avances parciales que, sin embargo, nos ayudan a ver un poco más claramente en la oscuridad de problemas difíciles y complejos. Algo que está relacionado con las ganas de hacer y organizar. Con la capacidad de asumir el riesgo, de emprender algo diferente.

b. *Necesidad económica de una buena Universidad*

Robert Reich, en su libro *El trabajo de las naciones* señala que en la economía globalizada actual lo único que es nacional es la calidad de las gentes. Calidad, habilidad y comportamiento, como ha señalado Angel Galíndez, de sus gentes, junto con unas adecuadas infraestructuras, convierten a una nación en atractiva dentro de la economía mundial. Qué duda cabe que un sistema educativo y una Universidad de calidad son parte esencial de ese atractivo. El «Memorandum sobre la Enseñanza Superior» de la Comunidad Europea insiste en que «el mercado de trabajo necesita más gente con conocimientos y alto nivel para sostener una economía en expansión basada en el conocimiento».

Muchas de mis afirmaciones sobre la Universidad tendrán un carácter general. Otras se refieren propiamente a las públicas. Con el sistema fiscal y de financiación actual las Universidades privadas difícilmente pueden aspirar a competir internacionalmente, especialmente en el campo de la Ciencia y la Tecnología (con honrosas y loables excepciones entre ellas el CEIT guipuzcoano de la Universidad de Navarra).

La existencia de un proyecto ampliamente compartido, algo crecientemente necesario en las complejas organizaciones modernas, no

debe confundirse con consensos alcanzados entre diversos sectores para la defensa de sus respectivos intereses corporativos. La situación actual tiende a la autorreproducción. Es necesario recuperar el principio de autoridad, la capacidad de dirección. Autoridad, para estructurar con criterios científicos y no corporativos. Autoridad, para organizar de forma eficiente la gestión. Criterios de calidad científica, dirección y liderazgo son necesarios. En definitiva un proyecto.

Un aspecto esencial es el reconocimiento de las diferencias y, por tanto, el tratamiento diferenciado de proyectos y personas. No debe confundirse el noble principio democrático de combatir desigualdades impuestas con el rechazo a la diferencia fundada en el trabajo y el mérito personal. No hay nada más discriminatorio que no discriminar. Ni nada que atente más contra la igualdad de oportunidades que el llamado café para todos.

Desde dentro de la Universidad, se tiende al uniformismo. La reivindicación igualitaria de carácter sindicalista, como negación en principio de la discriminación, se ha transformado de hecho en una vía de acceso muy fácil para la estabilidad de un profesorado vertiginosamente satisfecho con la «promoción lograda».

En la Universidad debe existir una jerarquía, la de la creatividad, la competencia y el saber; jerarquía que no debe ser sepultada por un igualitarismo demagógico.

Es necesario fomentar una actitud exigente y elitista en la selección del profesorado. Mientras que se buscan ejecutivos de élite, deportistas de élite..., no se detecta esa preocupación en muchos de los comportamientos universitarios. ¿Qué esfuerzo estamos haciendo en la Universidad para atraer, recuperar, o simplemente evitar que nos abandone gente buena?

En el Estado español entre el *60 y el 85 por ciento de las cátedras de universidad se ocupan con candidatos de la propia Universidad. Para profesores titulares de universidad estas cifras aumentan al 80 y 100 por cien respectivamente.* Sospecho que las cifras de la UPV/EHU son todavía más preocupantes. Soy consciente de que a veces la presión interna, el evitarse conflictos, e incluso en algunos casos (no en todos en los que se utiliza como excusa) un sentido de justicia social, lleva a la solución más cómoda para los que ya se encuentran en la Universidad. Más cómoda pero no más beneficiosa para el interés público. En algunos aspectos la Universidad Pública se está convirtiendo en algo muy privado.

Me preocupa el bloqueo a las nuevas generaciones, algo especialmente dañino para la innovación. Creo que, en estos momentos, tenemos una juventud formada —y no quiero hacer demagogia— como

pocas veces hemos tenido. Y sin embargo, podemos frustrar a una generación en sus expectativas de desarrollo universitario.

La condición de permanente no debe ser nunca alcanzada simultáneamente en prácticamente todos los puestos de una organización científica y académica. Es necesaria una combinación simbiótica de provisionalidad y permanencia, juventud y madurez.

Los jóvenes aportan entusiasmo, creatividad, fantasía, osadía y capacidad de trabajo; mientras que los profesores maduros aportan juicio crítico, experiencia y visión global.

Tengo la impresión de que uno de los problemas de la docencia en nuestra Universidad es que se dirige más a informar que a formar. Me parece que en muchas de nuestras facultades, incluso en algunas que se presentan como modelos, se sabe mucho pero se entiende poco. Entender va más allá de saber. Entender es adueñarse de lo que se sabe, integrarlo, pasarlo por un cedazo personal, hacerlo propio, de manera que ese saber se convierta en instrumento de análisis, en capacidad de adecuación a circunstancias diferentes, en instrumento de avance, de innovación, de creatividad.

Nuestros planes de estudio están excesivamente cargados. Los estudiantes tienen demasiadas clases.

La docencia es una actividad esencial. Nunca excelencia en investigación puede ser excusa para mediocridad en la docencia.

c. Importancia de los estudios de tercer ciclo

El papel principal actual al menos teóricamente de los estudios de graduados es producir los líderes académicos e investigadores del futuro. Sin embargo a la luz de las actuales situaciones políticas y de las transiciones económicas que percibimos como pendientes estoy convencido que los graduados de dichos estudios deberían dirigirse a impregnar la empresa, del vigor creativo e intelectual, necesario para afrontar crecientes desafíos sociales y económicos.

Lo que está en juego aquí no es simplemente si habrá suficientes puestos en nuestras facultades, sino el preguntarnos por qué una sociedad que se fundamenta de forma tan amplia en ciencia y tecnología, define tan restrictivamente el papel y las responsabilidades de científicos e ingenieros en su seno.

Emplear doctores puede ser muy beneficioso para la industria y le puede ayudar a adquirir ventaja competitiva. Un doctor, que ha traba-

jado en un buen grupo de investigación, aporta un mejor contacto entre la industria y la «Academia». Son recibidos como colegas. Saben moverse por los laboratorios y detectar la información adecuada. Tienen iniciativa, capacidad creativa y experiencia internacional.

Lo más importante de una tesis doctoral no son los resultados directos que produce sino la adquisición de unas capacidades, hábitos de formular preguntas, encontrar respuestas parciales, analizarlas, criticarlas para luego, en su caso, transmitir las adecuadamente. El objetivo del doctorado no es, no debe ser producir repeticiones clónicas de profesores e investigadores. No debemos identificar «éxito» con cátedras o puestos de investigador. Necesitamos doctores, gente con la preparación, mentalidad y actitud adecuada que se incorpore directamente a la industria. Personas preparadas para contribuir a un clima de innovación.

V. Algunos datos del sistema de C y T

En España los fondos de I+D han aumentado notablemente en los últimos años, creciendo desde el 0,55 % del PNB en 1985 al 0,87 % en 1992. Esto aunque es todavía muy bajo si lo comparamos con la media de la Unión Europea se ha traducido en un aumento de la producción científica.

Por ejemplo en el *Science Citation Index* (SCI) los trabajos que tuviesen al menos un autor español han crecido desde un 0,68 % en 1980 a un 2 % en 1993. Este avance ha sido fundamentalmente cuantitativo.

Aunque España ocupa la posición 12 por su participación en la producción científica mundial censada en el SCI, el impacto relativo de sus publicaciones la relega al puesto 38. Parte de esto quizás pueda ser atribuible al «Efecto San Mateo» pero, en todo caso, debe hacernos reflexionar. Una publicación incluso en revistas internacionales, no es garantía de calidad. Y la calidad es la clave para ser motor de un proceso innovador.

Los datos correspondientes al período 1980-1993 ambos incluidos representan, en promedio, para la Comunidad Autónoma Vasca el 2,71 % de todas las publicaciones del Estado. Es evidente que, contrariamente a muchas afirmaciones, no hay exceso de investigación académica en nuestra comunidad.

Se ha conseguido una comunidad científica mínima con modos de trabajo y formas de comportamiento comparables a los de los países

desarrollados. Sin embargo no se ha logrado una cultura industrial y social de innovación y tecnología.

La Balanza Tecnológica Española muestra unas tasas de cobertura muy inferiores a las de los países de nuestro entorno.

La industria sólo invierte la mitad del total de la inversión en I+D o menos, según algunas fuentes. E incluso, lo que empeora la situación, la mitad de la inversión del sector industrial se realiza en 70 grandes industrias, indudablemente una concentración excesiva.

Creo, que de forma general, se puede afirmar que las empresas han sido seguidoras de otras sin vocación de liderazgo tecnológico. Esta situación tiene sus razones e incluso se podría afirmar que con los condicionantes del pasado era una política lógica y racional. En la situación actual y futura tiene que cambiar. Algunas empresas tienen incluso grandes dificultades para identificar sus necesidades de innovación.

A pesar del sorprendente ascenso de las exportaciones españolas en los años 1994 y 1995 (Deducida de la Balanza de Pagos de España de 1994, en la que se observa una perceptible aunque no intensa variación tecnológica del conjunto de lo que se ha exportado), los resultados indican que, en conjunto, la industria española presenta una debilidad muy acusada en los sectores caracterizados por una elevada innovación tecnológica. Es necesario un seguimiento exigente de la ejecución de los proyectos realizados para apoyar la I+D industrial así como una evaluación de los resultados.

VI. **Conclusión**

El progreso técnico ha sido una de las fuerzas más importantes en la historia. La Ciencia y la Tecnología continuarán siendo de vital importancia para el bienestar de nuestra sociedad. Son condiciones necesarias pero no suficientes para la productividad y el liderazgo económico. El progreso tecnológico y la modernización industrial dependen de muchos factores, culturales y de todo tipo, incluyendo políticas públicas, estabilidad política, valores y actitudes; actitudes frente a la responsabilidad, el riesgo y la seguridad, junto con apertura o resistencia al cambio.

Lo dicho sirve para poner en perspectiva la importancia de la Ciencia y la Tecnología, en el desarrollo económico; reconociendo su importancia decisiva pero evitando absolutizarla.

A veces cuando oigo que todo el mundo está de acuerdo en apoyar la Ciencia, Tecnología e Innovación y, sin embargo, veo que no se toman las acciones tendentes a lograrlo pienso en aquel cínico consejo de Winston Churchill a su ayudante: «Tú muchacho alaba las humanidades, así pensarán que eres culto y de espíritu abierto.»

Tengo la impresión de que muchas empresas no sienten la necesidad de innovación. Otras utilizan de forma laxa, por decirlo suavemente, los fondos públicos a ello dedicados. Falta una apuesta seria, plasmada en presupuestos y exigencia de responsabilidades, por la Enseñanza Superior y la Universidad. La Universidad se ha percibido muchas veces más como un problema molesto que como algo vital para el desarrollo de un País. Desde dentro de la Universidad a menudo no nos hemos impuesto la exigencia de calidad en nuestra labor docente e investigadora que caracteriza a nuestro entorno Europeo. Ni hemos sido capaces, demasiadas veces, de afrontar las incomodidades personales que conlleva una apuesta por la excelencia y la no endogamia.

Soy consciente de que muchos, muchísimos en todas las instituciones que he citado, están trabajando de forma ejemplar; a veces en condiciones no totalmente adecuadas, dando mucho más que lo que reciben. A todos ellos mi reconocimiento y mi respeto.

Nuestra salud está mejorando, pero en esto la salud es un término comparativo, ¿comparado con quién? y la comparación es con nuestro entorno competitivo. Por ello intento seguir el sabio consejo que, en otro contexto, nos da Koldo Mitxelena en el prólogo de su *Historia de la Literatura Vasca*: «La verdad en la medida que podamos alcanzarla es más saludable aunque no más agradable, que consuelos inventados para nuestro amor propio.»

Y la verdad, tal como yo la percibo, es que el valor estratégico de la innovación científico-tecnológico no ha penetrado de forma suficiente en nuestra sociedad. Creo, sin embargo, que estamos dando algunos pasos en la dirección adecuada. Una de las condiciones necesarias que a veces no se resalta suficientemente es la necesidad de mejorar la calidad de todo el sistema de C y T: Empresas, Centros y Universidades. Pretender crear una sociedad innovadora desde acciones básicamente cuantitativas no es posible. Un plan impulsor de las enseñanzas científico-tecnológicas especialmente exigente en cuanto a la calidad es una prioridad económica. Una evaluación estricta de las medidas que se tomen es imprescindible para avanzar.

Construir una sociedad innovadora, una sociedad que acepte el riesgo con la responsabilidad que conlleva no es fácil. No hay fórmulas mágicas para ello. No podemos ni ignorar la experiencia ajena ni copiarla miméticamente. No se pueden trasladar directamente fórmulas válidas en determinados entornos a otros culturalmente diferentes. Este marco que nos proporciona una Institución Centenaria es muy apropiado para decir que en esto, como en todo, la actitud y el comportamiento de las personas es decisivo. Es conveniente un proyecto, incluso una cierta mística, junto con un claro liderazgo, liderazgo moral, desde la austeridad y el ejemplo personal, de políticos, empresarios y profesionales.

La clave es conseguir que una actitud innovadora impregne todos los estamentos del sistema social y productivo. Para ello es necesario lograr un complejo sistema de interacciones, un sistema global de Ciencia y Tecnología que funcione armónicamente, con flexibilidad y sin trabas burocráticas, que impulse las iniciativas que surjan en su seno. Es un problema que trasciende a las empresas, y a las propias agencias del gobierno. Engloba a toda la sociedad.

Nunca hemos tenido mejores condiciones para el conocimiento y la innovación. No podemos caer en un pesimismo estéril. Un País que no cree en sí mismo no será capaz de hacer nada que merezca la pena.

Yo soy optimista. Tengo confianza en nuestra gente y en nuestro País y quiero transmitir confianza y optimismo. Basado en lo único en que puede basarse, en hacer las cosas bien valorando la austeridad y evitando tanto el despilfarro como el camuflar la dura realidad por una acumulación de apariencias. Hacer las cosas bien, comparándonos con los de adelante, pensando en mañana y en pasado mañana.

Bibliografía

- J.A. GARRIDO, *Europa: Crisis, Industria, Educación*, Forum Deusto, Universidad de Deusto, 1944.
- R. BUENO, *Características y algunos problemas de los centros tecnológicos del País Vasco*, Eusko Ikaskuntza, Palacio de Miramar, 1995.
- J.G. GIMÉNEZ, *Sistema Vasco de Ciencia y Tecnología*, Eusko Ikaskuntza, Palacio de Miramar, 1995.
- R. PARDO, *Conocimiento científico-tecnológico y legitimación de la ciencia y la tecnología en España*, Fundación BBV, 1995.
- P. PASCUAL, *Universidad e Investigación en España*, Universidad Barcelona 1994.
- B. RICHTER, *The role of science in our society*, Physics Today, 1995.

- C.P. SNOW, *The two cultures and a second look*, Cambridge University Press, 1969.
- R.B. REICH, *El trabajo de las naciones*, Vergara, S.A., 1993.
- A. GALÍNDEZ, *La tercera revolución industrial*, Club de Marketing de Barcelona, 28 abril 1986.
- R. PAGELS, *Los sueños de la razón*, Gedisa, S.A., 1991.
- J. BROCKMAN, *The third culture*, Simon & Schuster, 1995.
- J. GABIÑA, *El futuro revisitado*, Marcombo, S.A., 1995.
- Conferencia COTEC Entorno y Tecnología 1994, Fundación COTEC para la innovación tecnológica, 1994.
- J.A. SÁNCHEZ ASIAÍN, *El cambio tecnológico, la innovación y la formación de los ingenieros*, Conferencia inaugural del curso 1993-1994. Universidad Politécnica de Cataluña, 1993.
- J.L. LAFUENTE y A. ORO, *El sistema español de ciencia y tecnología en el marco internacional*, Madrid, Fundesco 1992.
- M.L. DERTOUZOS, R.K. LESTER y R.M. SOLOW, *Made in America. Regaining the Productive Edge*, MIT Press, 1989.
- F. DYSON, *Infinite in all Directions*, Harper and Row, 1985.
- W. WAYT GIBBS, «Ciencia del Tercer Mundo», *Investigación y Ciencia*, Diciembre 1995.
- A. FERNÁNDEZ RAÑADA, *Los muchos rostros de la Ciencia*, Nobel, 1995.
- J. MONOD, P. GYLLENHAMMAR and W. DEKKER, *Reshaping Europe. A report from the European Round Table of Industrialist*, ERT, 1991.
- P.M. ETXENIKE, en *Los grandes avances del conocimiento*, Serie Centenario Universidad de Deusto, 25-34, 1986.